



Расчет Теплопоступлений В Помещения Через Остеклённые Световые Проёмы

1. Комилов О. С.
2. Ахророва М. И.
3. Хамидов Я. Я.
4. Садыков И. Ш.

Received 2nd Jan 2023,
Accepted 3rd Feb 2023,
Online 7th Apr 2023

^{1,2,3} Бухарский инженерно-технологический институт

⁴ Азиатский международный университет

Аннотация: При эксплуатации общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций в теплый период года можно столкнуться с перегревом помещений из-за неверно учтенной в тепловом балансе значительной величины теплопоступлений от солнечной радиации.

В данной работе приведены и проанализированы принципы расчета теплопоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные проемы. Расчеты позволяют определить величины теплопоступлений в помещения в зависимости от конструктивных особенностей окон их теплотехнических качеств, с учетом изменения температуры наружного воздуха в течение суток.

Ключевые слова: тепловой поток, солнечная радиация, инсоляция, азимут солнца, температура.

В летнее время года температурный режим в помещениях формируется под влиянием внешних факторов, среди которых главную роль играют солнечная радиация и температура наружного воздуха. Теплопоступления от солнечной радиации, проникающей в помещения через светопрозрачные конструкции, составляют около 50 % от суммарных теплопоступлений. Большие теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы и высокая температура наружного воздуха вызывают перегрев помещений. Создание благоприятного микроклимата в помещениях в летний период года требует применения систем вентиляции, кондиционирования воздуха и солнцезащитных устройств. Выбор конструкций для заполнения световых проемов, позволяющих обеспечить комфортные условия в помещении и устранение нарушений теплового баланса организма человека является одной из важных задач проектирования зданий[1].

Для поддержания допустимых метеорологических условий в помещениях зданий важен точный расчет требуемого воздухообмена, для которого необходимо найти величины поступающих в помещения избыточной теплоты, влаги и вредных веществ. Для общественных зданий основным вредным выделением является избыточная теплота, а в тепловом балансе современных зданий с маломассивными ограждающими конструкциями и большими

площадями остекления существенную роль играют теплопоступления через наружные ограждения из-за воздействия солнечной радиации[2].

Солнечная радиация-это поток электромагнитных волн, движущийся со скоростью 300 000 км/с. Выделяют прямую и рассеянную солнечную радиацию. Прямая радиация поступает на поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих от солнечного диска. Рассеянная солнечная радиация - это та часть солнечной радиации, которая была рассеяна в земной атмосфере молекулами и частичками, содержащимися в воздухе, облаками. Они поступают на поверхность от всего небосвода[3-6].

В данной работе приведены и проанализированы принципы расчета теплопоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные проемы. Расчеты позволяют определить величины теплопоступлений в помещения в зависимости от конструктивных особенностей окон, их теплотехнических качеств, с учетом изменения температуры наружного воздуха в течение суток.

Рассчитаны теплопоступления через заполнения световых проемов (окна) как сумма радиационной составляющей, возникающей в результате непосредственного проникновения солнечных лучей через остекление, обусловленной теплопередачей составляющей.

Солнечная радиация, поступая в помещение, создает так называемый световой режим, который выражается в облучении прямой солнечной радиацией внутренних поверхностей помещения (инсоляции) и естественное освещение. Вычисление теплопоступления производится для расчетного часа в июле месяце при безоблачном небе. За расчет принимается час, когда суммарное теплопоступление через различно ориентированные заполнения световых проемов, максимальны[7-10].

Тепловой поток Q_{Π} , (Вт), поступающий в помещение в расчетный час суток через заполнение световых проемов, определяется по выражению

$$Q_{\Pi} = (q_R a_{\Pi} + q_{\Pi}) F_{\Pi}, \quad (1)$$

где q_R – количество удельного теплового потока (отнесенные к единице площади поверхности) поступающей в помещение через остекленные проёмы за счёт проникающей солнечной радиации, $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)$;

q_{Π} – количество удельного теплового потока, поступающего в помещение через остекление за счет теплопередачи, $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)$;

a_{Π} – коэффициент ассимиляции теплопоступлений от солнечной радиации ограждающими конструкциями и оборудованием;

F_{Π} – площадь светопрозрачной конструкции м^2 .

Для расчета теплопоступлений в помещения через остекление от солнечной радиации необходимо учитывать ее интенсивность, которая определяется по справочным данным, а также характеристики остекления. Согласно[5], удельного теплового потока поступающего через стеклопакета (светопрозрачного ограждения) можно определять по формуле (2), для вертикального заполнения световых проемов

$$q_R = (q_{\perp}^B K_{\text{инс.в}} + q_p^B) \cdot T_{\text{отн}} \cdot \tau_2, \quad (2)$$

для наклонного (близкого к вертикальному) заполнению световых проемов)

$$q_R = \left(q_{\perp}^B K_{\text{инс.н}} \cdot \frac{\text{ctg} \beta}{\text{ctg}(\beta \pm \beta')} + q_p^B \right) \cdot T_{\text{отн}} \cdot \tau_2, \quad (3)$$

для наклонного горизонтального остекления

$$q_R = (q_{\perp}^H K_{\text{инс.г}} + q_p^H) \cdot T_{\text{отн}} \cdot \tau_2, \quad (4)$$

где q_{\perp}, q_p – удельный тепловой поток, $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)$, соответственно прямой и рассеянной солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление с толщиной $2,5 \div 3,5$ мм, поступающей в помещение в расчетный час суток (для вертикальных принято обозначение индексом “в”, горизонтальных – “г”, наклонных – “н”), зависящий от расчетного часа, ориентации и географической широты местности строительства (табл.1.).

Поступление теплоты, Вт/м², от прямой q_{\perp} и рассеянной q_p солнечной радиации в июле через вертикальное одинарное остекление. Таблица 1

Широта °С. Ш	Время	Тепловой поток(количество теплоты), Вт/м ²															
		С		СВ		В		ЮВ		Ю		ЮЗ		З		СЗ	
		q_{\perp}	q_p	q_{\perp}	q_p	q_{\perp}	q_p	q_{\perp}	q_p	q_{\perp}	q_p	q_{\perp}	q_p	q_{\perp}	q_p	q_{\perp}	q_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
38	7-8	-	77	357	110	509	130	333	109	-	71	-	55	-	55	-	55
	8-9	-	71	256	101	490	121	398	108	66	79	-	60	-	59	-	60
	9-10	-	64	84	80	371	100	387	101	162	81	-	63	-	60	-	62
	10-11	-	60	2	71	193	81	305	86	245	84	-	67	-	60	-	64
	11-12	-	59	-	67	37	72	214	79	288	85	73	77	-	65	-	65
	12-13	-	59	-	65	-	65	73	77	288	85	214	79	37	72	-	67
	13-14	-	60	-	64	-	60	-	67	245	84	305	86	193	80	2	71
	14-15	-	64	-	62	-	60	-	63	162	84	387	101	371	100	84	80
	15-16	-	71	-	60	-	59	-	60	66	79	398	108	490	121	256	101
	16-17	-	77	-	55	-	55	-	55	0	71	333	109	509	130	357	110
	17-18	42	70	-	44	-	44	-	44	0	85	209	86	452	112	369	98
44	7-8	-	74	348	107	542	129	363	109	3	73	-	53	-	53	-	53
	8-9	-	70	222	99	497	121	427	112	80	81	-	60	-	58	-	59
	9-10	-	64	60	81	372	100	419	107	186	86	-	65	-	58	-	62
	10-11	-	60	-	71	193	81	352	94	271	87	-	70	-	60	-	64
	11-12	-	59	-	67	37	72	251	84	317	88	106	78	-	65	-	65
	12-13	-	59	-	65	-	65	106	78	317	88	251	84	37	72	-	67
	13-14	-	60	-	64	-	60	-	70	271	87	352	94	193	81	-	71
	14-15	-	64	-	62	-	60	-	65	186	86	419	107	372	100	60	81
	15-16	-	70	-	59	-	58	-	60	80	81	427	112	497	121	222	99
	16-17	-	74	-	53	-	55	-	53	3	73	363	109	542	129	349	107
	17-18	35	69	-	44	-	54	-	43	-	55	237	87	472	114	385	98

$K_{\text{инс.в}}, K_{\text{инс.г}}, K_{\text{инс.н}}$ – коэффициенты инсоляции (для вертикального, индекс “в”, горизонтального – “г”, наклонного – “н”) остекления показывающей долю площади заполнения светового проема, через которую поступает прямая солнечная радиация;

β – угол (для горизонтальных затеняющих устройств), град, между вертикальной плоскостью остекления и проекцией солнечного луча на вертикальную плоскость, перпендикулярно рассматриваемой плоскости остекления Рис.1;

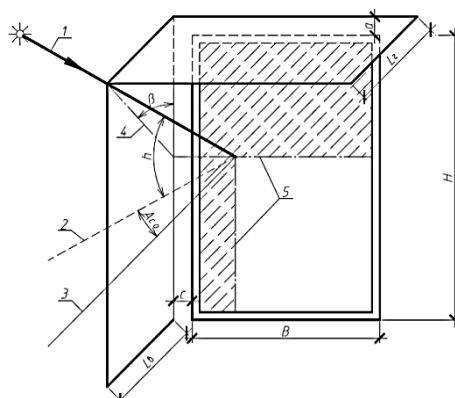


Рис.1. К определению коэффициента инсоляции

К определению коэффициента инсоляции 1- направление солнечного радиация; 2- горизонтальная проекция солнечного радиация; 3- нормаль к плоскости заполнения светового проема; 4- проекция солнечного радиация на вертикальную (к плоскости заполнения и горизонта) плоскость; 5-границы тени от солнцезащитных устройств на поверхности заполнения; Н и В – высота и ширина светового проема; а и с-расстояние от горизонтального и вертикального элемента затенения до откоса светового проема; L_v и L_h – размеры вертикальных и горизонтальных выступающих элементов затенения

β' – угол отклонения плоскости остекления от вертикального, град;

$T_{отн}$ – коэффициент относительного пропускания солнечной радиации через заполнение световых проемов, отличающихся от одинарного остекления (таб.2.)

Теплотехнические характеристики заполнения световых проемов [11].Табл.2

Вид заполнения светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{II}, (m^2 \cdot ^\circ C / Bt)$	Коэффициент относительного проникания $k_{отн}$	Коэффициент затенения $k_{отн}$
Тройное остекление из обычного стекла в раздельно-спаренных деревянных переплетах	0,55	0,70	0,50
Однокамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете(оба стекла обычные)	0,35	0,76	0,80
Однокамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете(одно обычное стекло, второе-с мягким селективным покрытием)	0,56	0,54	0,80
Двухкамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете (все стекла обычные, межстекольное расстояние 12 мм)	0,54	0,74	0,80
Двухкамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете(с одним стеклом с мягким селективным покрытием)	0,68	0,48	0,80

Двухкамерный стеклопакет в одинарном 5- камерном ПВХ переплете (среднее и внутренне покрытием, межстекольное расстояние 14мм- заполнено воздухом)	1,01	0,36	0,50
---	------	------	------

Высота h , град. и азимут солнца A_c , град, на различных широтах в июле Таблица 3

Истинное солнечное время, ч		Значения h и A_c на географической широте, град, с ш																	
до полудня	после полудня	36		40		44		48		52		56		60		64		68	
		h	A_c	h	A_c	h	A_c	h	A_c	h	A_c	h	A_c	h	A_c	h	A_c	h	A_c
2-3	21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	145
3-4	21-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	130	3	131	6	131
4-5	19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	3	119	5	120	7	120	9	119	10	118
5-6	18-19	6	111	8	111	9	111	10	110	12	109	13	108	14	107	15	106	16	104
6-7	17-18	18	104	19	104	19	100	20	99	21	97	21	95	21	94	21	92	21	91
7-8	16-17	30	94	29	93	29	90	30	87	30	85	29	82	28	81	27	79	27	77
8-9	15-16	42	86	41	82	40	78	40	76	38	72	37	69	36	67	34	64	32	61
9-10	14-15	54	75	52	69	50	65	49	60	47	56	45	53	43	50	40	94	37	45
10-11	13-14	65	56	62	49	59	45	56	40	54	36	51	33	18	31	44	29	40	28
11-12	12-13	73	24	69	20	65	18	61	16	58	13	54	12	50	11	46	10	42	9
12	(полдень)	74	0	70	0	66	0	62	0	58	0	54	0	50	0	46	0	42	0

τ_2 — коэффициент, учитывающий затенение светового проема переплетами [11].

Для определения значений, входящих в (2), (3) и (4) $K_{\text{и}}$ — коэффициент инсоляции определяется в виде:

для вертикального заполнения световых проемов

$$K_{\text{и}} = \left(1 - \frac{L_{\text{г}} \text{ctg} \beta - a}{H}\right) \left(1 - \frac{L_{\text{в}} \text{ctg} A_{\text{с.о}} - c}{B}\right), \quad (5)$$

для горизонтального заполнения световых проемов

$$K_{\text{и}} = \left(1 - \frac{L_{\text{г}} \text{ctg} h \sin A_{\text{с.о}} - a}{H}\right) \left(1 - \frac{L_{\text{в}} \text{ctg} h \cos A_{\text{с.о}} - c}{B}\right), \quad (6)$$

где $L_{\text{г}}, L_{\text{в}}$ — размеры горизонтально и вертикально выступающих элементов затенения (откосов);

H, B — высота и ширина светового проема;

a, c — соответственно расстояния от горизонтального и вертикального элементов затенения до откоса светового проема;

$A_{\text{с}}$ — азимут солнца, принимаемый в зависимости от географической широты по табл.4.

Солнечный азимут остекления A_{CO} в зависимости от ориентации светового проема
Таблица 4

Ориентация заполнения	A_C	A_{CO}
	град	
С	—	$180 - A_C$
СВ, СЗ	> 135	$A_C - 135$
	< 135	$135 - A_C$
В(до полудня) З (после полудня)	> 90	$A_C - 90$
	< 90	$90 - A_C$
ЮВ - до полудня - после полудня	> 45	$A_C - 45$
	< 45	$45 - A_C$
	—	$A_C + 45$
ЮЗ - до полудня - после полудня	—	$A_C + 45$
	> 45	$A_C - 45$
	< 45	$45 - A_C$
Ю	—	A_C

β — угол между вертикальную плоскость, перпендикулярную рассматриваемой плоскости остекления.

Угол β

$$\beta = \arctg(ctgh \cdot \cos A_{C.O}), \quad (5)$$

где h — высота стояния солнца (см.рис.1) град. определяемая в соответствии с (табл. 3.)

Удельной тепловой поток, обусловленный теплопередачей, рассчитывается по выражению

$$q_{ТП} = \frac{t_{н.усл} - t_v}{R_o} \quad (6)$$

где t_v — расчетная температура внутреннего воздуха, °C,

принимается согласно норм проектирования;

$t_{н.усл}$ — условная температура наружного воздуха, °C, с учетом солнечной радиации рассчитываемая при вертикальном заполнении световых проемов;

$$t_{н.усл} = t_{н.ср} + 0,5 \cdot A_{t_n} \cdot \beta_{\Gamma} + \frac{(q_v \cdot K_{инс.в} + q_d)}{\alpha_{\Gamma}^B} \cdot \varepsilon \cdot \tau_{\Gamma}, \quad (7)$$

при горизонтальном заполнении световых проемов;

$$t_{н.усл} = t_{н.ср} + 0,5 \cdot A_{t_n} \cdot \beta_{\Gamma} + \frac{(q_{\Gamma} \cdot K_{инс.г} + q_d)}{\alpha_{\Gamma}^B} \cdot \varepsilon \cdot \tau_{\Gamma}, \quad (8)$$

при наклонном заполнении световых проемов;

$$t_{н.усл} = t_{н.ср} + 0,5 \cdot A_{t_n} \cdot \beta_{\Gamma} + \frac{(q_v \cdot K_{инс.в} \cdot \frac{ctg \beta}{ctg(\beta \pm \beta_{\Gamma})} + q_d)}{\alpha_{\Gamma}^B} \cdot \varepsilon \cdot \tau_{\Gamma}, \quad (9)$$

где $t_{н.ср}$ — среднемесячная температура наружного воздуха, °C, наиболее жаркого месяца (июля), принимается согласно [11].

A_{t_n} — суточная амплитуда температуры наружного воздуха, °C, принимается по [11],

ε – коэффициент поглощения солнечной радиации заполнением светового проема, принимаемый по справочным данным [11]; для тройного остекления и двухкамерных стеклопакетов $\varepsilon = 0,7$, для однокамерного стеклопакета, со стеклом толщиной 4 мм в деревянных и ПВХ переплетах можно ориентировочно принять $\varepsilon = 0,4$;

α_n – суммарный коэффициент теплоотдачи наружной поверхности остекления, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}$, зависящий от скорости ветра.

Исходя из вышеприведенных расчетов, определим количество теплоты, поступающей в помещение через двойное остекление в деревянных переплетах, ориентированное на восток. Здание возводится в г.Бухаре. Стекла обычные с коэффициентами поглощения солнечной радиации $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,1$; пропускания $T_1 = T_2 = 0,85$ и отражения $R_1 = R = 0,05$. Согласно СНиП 2.01.04-2018 для г.Бухара $t_n = 26,9\text{°C}$; $q = 749 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha_v = 8,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ и $\alpha_n = 17,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ [11]. Температура воздуха в помещении поддерживается на уровне $t_v = 25\text{°C}$. Солнцезащитное устройство отсутствует, $\beta = 1$, $R_0 = 0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Расчет ведем по формуле(1). По формуле (7) определяем условную температуру с учетом солнечной радиации при $k_{\text{и}} = 1$ и $\beta = 1$.

$$t_{\text{н.усл}} = t_n + (\varepsilon q)/\alpha_n = 26,9 + (0,1 \cdot 749)/17,4 = 31,2\text{°C},$$

$$\text{по формуле(6)} \quad q_{\text{ТП}} = (31,2 - 25)/0,34 = 18,8 \text{ Вт/м}^2$$

$$\text{по формуле(3)} \quad q_R = T_{\text{отн}} \cdot q = T_1 T_2 \cdot q = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 749 = 540 \text{ Вт/м}^2$$

$$\text{по формуле(1)} \quad Q_{\text{п}} = (q_R \cdot \alpha_{\text{п}} + q_{\text{ТП}}) = 540 + 18,8 = 558,8 \text{ Вт/м}^2$$

из этого примера следует, что основную часть теплоступлений через остекление составляет проникающая радиация. Количество теплоты, поступающей теплопроводностью, составляет только 3,3 % проникающей радиации.

Произведенные расчеты позволяют определить величины теплоступлений в помещения в зависимости от конструктивных особенностей световых проемов (окон) и их теплотехнических качеств, с учетом изменения температуры наружного воздуха в течение суток. Расчеты позволяют также производить экономическую оценку эффективности применения средств по ограничению теплоступлений в помещения зданий.

Список использованной литературы

1. Дусяров А.С. Определение тепловых потерь инсоляционных пассивных систем солнечного отопления. Инновацион технологиялар, махсус сон. 2022. 103-106 б.
2. Мухачев Г.А. Термодинамика и теплопередача. М.; Высшая школа, 1991. 480с.
3. Ковальногов Н.Н. Пограничный слой в потоках с интенсивными воздействиями. Ульяновск; УЛГТУ, 1996. 246с.
4. Yang. R., Liu L. Termal environment in the cotton textile workshop// Energy and Buildings.-2015. – vol.102. P.432-441.
5. Малявина Е.Г. Теплотери здания. - М.: АВОКПРЕСС, 2007. С.144.
6. Савин В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение.- М.: Лазурь, 2007. С.432.

7. Пчелинцева Л.В. Проблемы энергосбережения в России. Современные требования к системам оконного и фасадного остекления заданий. Строительная наука. №3. 2021. С. 445-449.
8. Коржнева Т.Г. Анализ теплотерь помещение через системы естественного освещения известия ТПУ. 2013. №4.С.322.
9. Гликин С.М. Роль светопрозрачных конструкций в энергосбережении зданий. Строительная наука №5 2009. С. 381-384.
10. Борухова Л.В. Совершенствование конструкции и рекомендации по их уменьшению. Энергетика. Изв. Высш. Уч. Зов. СНГ. Т 59. №1. 2016. С.65-78.
11. КМК 2.01.04-2018 “Строительная теплотехника”, Ташкент, 2018.

